

# 食品配送モデルに対するS&OPの適用

著者	高田 瞭
学位授与機関	東京海洋大学
学位授与年度	2015
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1342/00001265/">http://id.nii.ac.jp/1342/00001265/</a>

# 目次

第 1 章	序論	1
1.1	論文構成	1
第 2 章	先行研究	2
第 3 章	本研究の概要	2
第 4 章	S&OP とは	3
4.1	S&OP の対象	3
4.2	S&OP の手法	3
4.3	本研究における S&OP の考え方	4
第 5 章	本研究で考慮する食品配送モデル仮定	6
第 6 章	定式化	9
6.1	S&OP を適用しない食品配送モデル（基本モデル）	9
6.1.1	S&OP を適用しない食品配送モデル（基本モデル）定式化	10
6.2	品目ごとに S&OP 適用した食品配送モデル (提案モデル 1)	12
6.2.1	品目ごとに S&OP 適用した食品配送モデル (提案モデル 1) 定式化	13
6.3	需要地点, 品目ごとに S&OP 適用した食品配送モデル (提案モデル 2)	15
6.3.1	需要地点, 品目ごとに S&OP 適用した食品配送モデル (提案モデル 2) 定式化	16
第 7 章	実験データ	18
第 8 章	実験	23
8.1	実験環境	23
8.2	実験結果	23
第 9 章	まとめ及び今後の課題	28
9.1	まとめ	28
9.2	今後の課題	28

## 図目次

4.1	S&OP の適用プロセス [3]	4
5.1	配送のイメージ	6
5.2	転送のイメージ	7
7.1	工場の地点情報	20
7.2	格子グラフ	21
7.3	変更の範囲 [3]	22
8.1	最適解の推移	24
8.2	総転送量の推移	25
8.3	総転送量の推移	26
8.4	価格変化	27

## 第 1 章 序論

企業経営においてサプライ・チェーンの管理，価格と収益の管理は重要な要素であり，多くの企業が効率化を目的として配送モデル等を用いている．しかし，それぞれの決定を違う部署が管理することも多い一方で効率化，低コスト化が求められている．サプライ・チェーンの管理，価格と収益の管理を同時に考慮する考え方に S&OP というものがある．S&OP とは Sales and Operations Planning の略であり，利益という視点から需要と供給を協調することで効率化を図るサプライチェーン・マネジメント（SCM）のフレームワークである．以前の SCM の考え方ではモノの流れを最適化することが主眼とするケースが多かった中で，S&OP は利益に主眼を置いた考え方である．S&OP では価格や需要のマネジメントと同時に SCM を考えるので，計画期間は中長期を意識したものとなり，集約的なデータに対しての導入が望ましい．

本研究では，サプライ・チェーンの管理，価格と収益の管理を同時に考慮する S&OP の考え方を食品の配送に対して適用するモデルの考案し，利益を主眼においた最適化モデルにおいて価格決定がどのような戦略の変化を生むか観察し，実験的に明らかにする．

### 1.1 論文構成

本論文の構成は以下の通りである．

- 第 2 章では，価格の変動を考慮したサプライチェーン最適化に関連する先行研究について述べる．
- 第 3 章では，本研究の概要を述べる．
- 第 4 章では，S&OP について手法と本研究における方針を述べる．
- 第 5 章では，食品配送モデルの仮定について述べる．
- 第 6 章では，提案モデルの定式化を述べる．
- 第 7 章では，実験に用いる仮想データについて述べる．
- 第 8 章では，実験と実験結果を述べる．
- 第 9 章では，まとめを述べる．

## 第 2 章 先行研究

サプライ・チェーンと価格の管理を同時考慮するような研究は進められている。

『サプライチェーンリスク管理と人道支援ロジスティクス』[2] には動的価格付けモデルという題で価格調整を考慮したモデルを久保らは提案している。

著書内では新聞売り子モデルに対して適用し、実験の結果と効果について述べられている。

## 第 3 章 本研究の概要

本研究では、加工食品の工場を持つ企業を想定した生産、配送を最適化するモデルに対して、S&OP の考え方を適用することで、売上利益という視点からの最適化を行うことを試みる。工場のように生産活動を行う地点のことを生産地点、顧客の物流センターのような地点を需要地点と本研究では呼称する。このようなモデルにおいて基本的に考慮する費用は、生産固定費用、生産変動費用、輸送費用がある。また、今回想定する生産活動を行う企業においては、輸送には 2 種類があり、生産地点から需要地点へ輸送する「配送」と、生産地点から生産地点に対して輸送する「転送」という物流がある。転送とは、生産可能な数量の上限を越えた場合など作ることができない商品を他の生産地点から輸送することで需要を満たすというモノの動きである。しかし、このような活動にも当然コストがかかるので、配送費用と転送費用、生産固定費用のトレードオフ関係を本研究では S&OP による価格調整を考慮したモデルを考案し、最適化技術を用いて実験、観察する。

また、総需要が生産の上限を上回る場合も想定することで、価格調整によって需要の変動による影響をどのように変わるのか実験、観察も行う。

本研究で扱う S&OP とその考え方については第 4 章で、輸送問題についての詳細は第 5 章で詳しく説明する。

このようにして作られたモデルに対して、データを入力、実験を行う。本研究のモデルについての詳細は第 6 章にて説明する。

また、本研究において実際のデータを入手することはかなわなかったため、仮想のデータを調査により作成した。収集したデータとその加工、内容については第 7 章にて説明する。仮想のデータに対して最適化を行う実験を行い、その内容と結果を第 8 章に記述する。

## 第 4 章 S&OP とは

S&OP とは Sales and Operations Planning の略であり，利益という視点から需要と供給を協調することで効率化を図るサプライチェーン・マネジメント（SCM）のフレームワークである．以前の SCM の考え方ではモノの流れを最適化することが主眼とするケースが多かった中で，利益に主眼を置いた考え方が 1980 年代から提唱された．[12]

### 4.1 S&OP の対象

S&OP では価格や需要のマネジメントと同時に SCM を考えるので，計画期間は中長期を意識したものとなる．ここでいう中長期計画では 18 ヶ月から 24 ヶ月が対象と想定する．

売上を管理する事業計画の分野とモノの数量を管理する SCM の分野が協調し，同時に考慮することでタイムラグや意思決定のずれが無い決定が出せることに利点がある．実際の企業においても集約したデータの分析の分析管理のためのシステムがパッケージとして売られていたり，する注目されている SCM の用語の 1 つであるといえるであろう．

本研究は中長期の計画を対象とした研究なので，最適化に用いるデータを詳細なままでなく，ある程度集約して用いる．

S&OP は中長期計画を決定し，データも集約したものを対象とするので，実際のオペレーションにおいては短期計画にて詳細な変更に対応した計画を決定する必要がある．

### 4.2 S&OP の手法

S&OP の実施はデータを集めることから始まる．データを元に需要と供給の計画を予測やシミュレーションを使って計画する．企業での調整会議を経て，重役会議で中長期計の策定となる．関係を図 4.1 に示す．

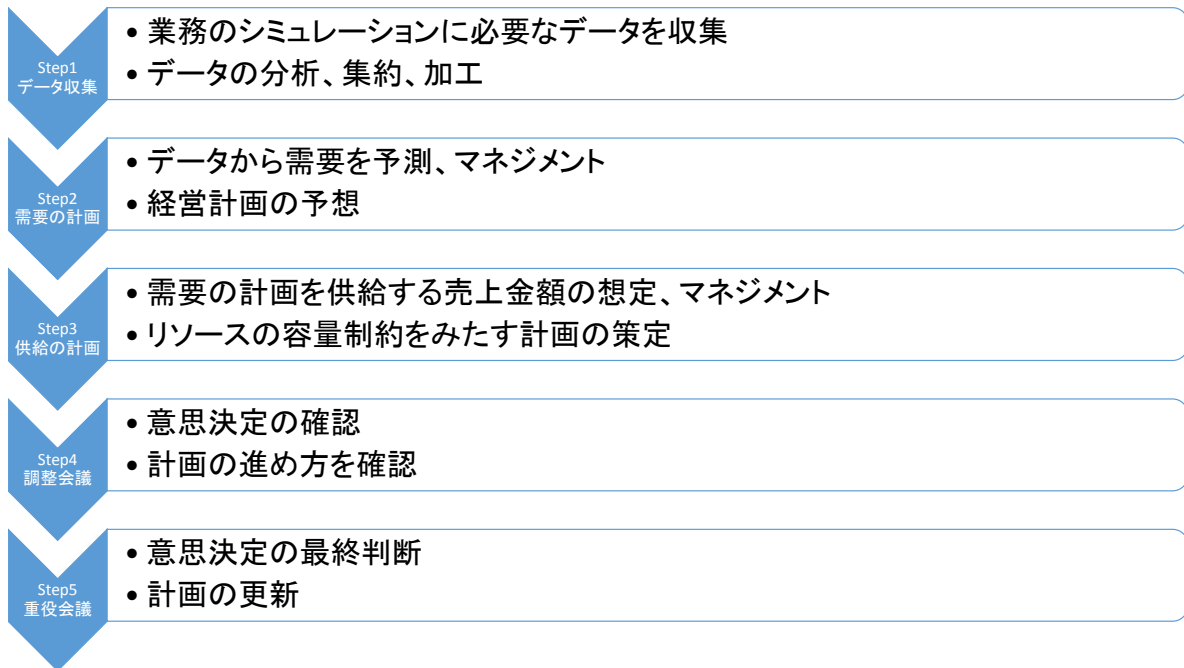


図 4.1 S&OP の適用プロセス [3]

本研究において、実際の企業などと一緒に研究することはできなかったため、Step 4, Step 5 については考慮しないものとする。また、Step 1 についても、仮想のデータを作成したプロセスについて記載するが、実際のデータではないので、本来の活動と異なる点がある点にも留意してほしい。

### 4.3 本研究における S&OP の考え方

本研究では、この中の価格と需要の項目を対象に、需要が価格弾力性によって価格の値により変動する場合を仮定して、転送を考慮した輸送モデルのコストがどのように変動するかを考え、利益の最大化を行うモデルについて考察し、最適化アプローチを適用できることを実験することを目標とする。

需要と価格の関係性については「サプライチェーンリスク管理と人道支援ロジスティクス」[2] の動的価格付けモデルを参考にする。最初の価格、需要量をそれぞれ  $p^0$ ,  $d^0$  として、変化後の価格、需要量をそれぞれ  $p$ ,  $d$  として、価格弾力性を  $\alpha$  とすると

$$d = d^0 + \alpha(p^0 - p)$$

と表すことができる。本研究では短期的に変えることが難しい価格の決定を考慮すること

でサプライ・チェーン全体を改善できるのではないかとの仮説に対して最適化アプローチによる実験を行う。



## 第 5 章 本研究で考慮する食品配送モデル仮定

本研究で考慮する食品配送モデルは，長期保存不可能な食品を生産するメーカー想定したモデルである．なので，需要地点に在庫などは無いとする．

また，生産には一定のリソースを使用する．たとえば，時間や機材，人などがそれにあたる．このようなリソースには上限がある．

概要でも述べたが，本研究のモデルには 2 種類の輸送が含まれている．

1 つは生産地点から需要地点への輸送であり本研究では配送と呼ぶ．配送のイメージを図 5.1 に示す．配送は各地点で需要のある品目をみたとすように輸送することであり，必ず需要量よりも多い量になるように制約をつける．

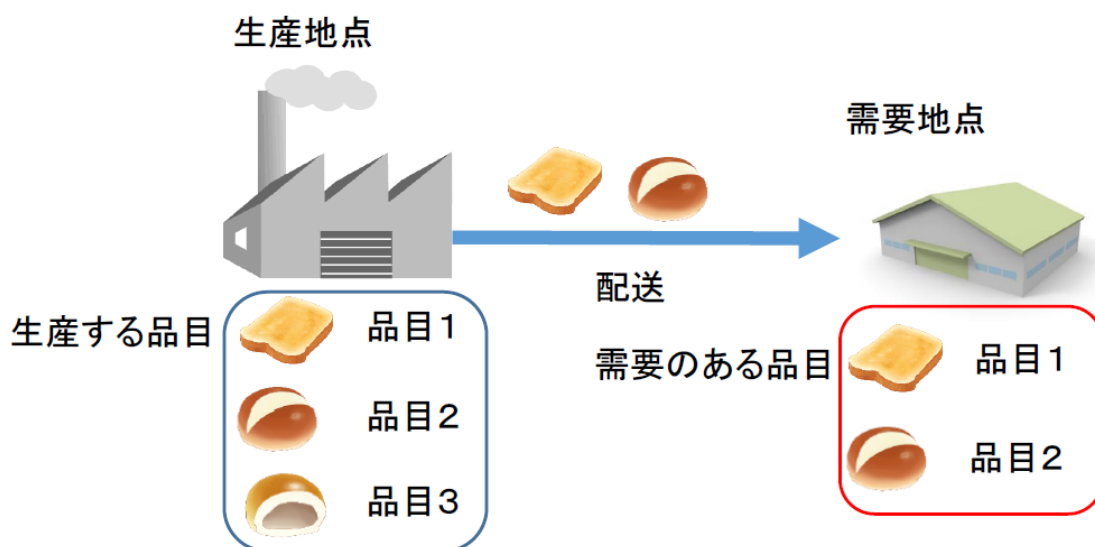


図 5.1 配送のイメージ

もう 1 つが転送である．転送は，生産地点と生産地点の間で行われる輸送であり，また，転送に使う商品も工場の生産上限をみたとすように生産する必要がある．転送のイメージを図 5.2 に示す．転送の費用は配送よりも大きなトラックでまとめて輸送すると考えるので，配送費用よりも安い価格である．（配送費用のほうが高い場合は転送はしない．）

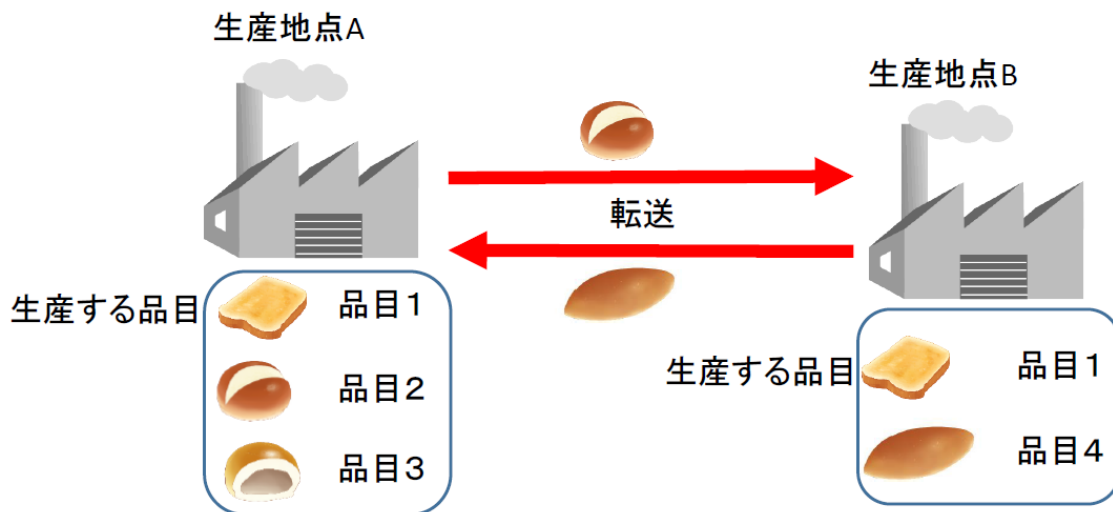


図 5.2 転送のイメージ

価格のマネジメントを考える上で利用する価格の変更を考慮する式は、以下の通りである。

- $\alpha$ : 価格弾力性のパラメータ
- $p$ : 変更後の価格を表す変数
- $d$ : 変更後の需要を表す変数

というパラメータと変数を導入して、

$$d = d^0 + \alpha(p^0 - p)$$

価格が下がると需要が上がるという関係性を上式を用いて価格と需要の関数として表し、制約式として利用する。

モデルの仮定をまとめると以下の通りである。

- 長期保存不可能な食品を生産するメーカー想定する。在庫は考慮しない。
- 生産には一定のリソースを使用する。
- 生産地点から生産地点へと輸送する「転送」と生産地点から需要地点へ輸送する「配送」の2つの輸送を考慮する。

- 各地点，各品目の需要はべき法則に従い与えられる．
- 生産活動には生産開始時に必要な生産固定費用，生産数量によって必要となる生産変動費用が必要である．
- 転送と配送，それぞれにの活動に輸送費用が必要とする．

上記のような活動を行うを行う企業を想定し，利益の最大化を最適化技術を用いてシミュレートする．以上が本研究のモデルの仮定である．

## 第 6 章 定式化

本研究では，比較のため，3 種類のモデルを作成した．1 つは，現状を表すモデルで，価格の調整はせず最適な方法で輸送することを示すだけのモデルである．このモデルと基準とし，どのくらいの効率化や需要の変化に対応できるか，以下のモデルと比較する．残りの 2 つは上記の S&OP（価格調整）を導入したモデルである．片方は，すべての地点で同じ卸価格を使う仮定で価格調整を行うモデルであり，もう一方はすべての地点で任意の価格をつけることができるモデルである．

### 6.1 S&OP を適用しない食品配送モデル（基本モデル）

集合：

$I$ : 生産地点の集合

$J$ : 需要地点の集合

$S$ : 製品の集合

添え字：

$i, j, k$ : 地点の添え字

$s$ : 製品の添え字

パラメータ：

$\alpha_s$ : 製品  $s$  の価格弾力性

$p_s^0$ : 製品  $s$  の元価格

$d_{js}^0$ : 製品  $s$  の需要地点  $j$  における元需要

$M_i$ : 生産地点  $i$  の生産リソース上限

$N_i$ : 生産地点  $i$  の生産品目数上限

$g_{is}$ : 製品  $s$  を生産地点  $i$  で生産開始する時に必要な段取りリソース

$f_{is}$ : 製品  $s$  を生産地点  $i$  で生産開始する時に必要な段取り費用

$c_s$ : 製品  $s$  を 1 単位生産するのにかかる費用

$r_{ijs}$ : 製品  $s$  を生産地点  $i$  から需要地点  $j$  へ配送するのにかかる費用

$R_{ijs}$ : 製品  $s$  を生産地点  $i$  から生産地点  $j$  へ転送するのにかかる費用

変数：

$u_{is}$ : 製品  $s$ ，生産地点  $i$  の生産量を表す変数

$v_{is}$ : 製品  $s$ , 生産地点  $i$  の段取りを表す 0,1 変数  
 $x_{ijs}$ : 製品  $s$ , 生産地点  $i$  から需要地点  $j$  への輸送量を表す変数  
 $X_{ijs}$ : 製品  $s$ , 生産地点  $i$  から生産地点  $j$  への転送量を表す変数  
 $cost_{is}$ : 製品  $s$ , 生産地点  $i$  の総コストを表す変数

### 6.1.1 S&OP を適用しない食品配送モデル（基本モデル）定式化

$$\text{maximize } \sum_{j \in J, i \in I} p_s^0 d_{js}^0 - \sum_{i \in I, s \in S} cost_{is} \quad (6.1)$$

$$\text{subject to } \sum_{s \in S} u_{is} + \sum_{s \in S} g_{is} v_{is} \leq M_i \quad \forall i \in I \quad (6.2)$$

$$\sum_{s \in S} v_{is} \leq N_i \quad \forall i \in I \quad (6.3)$$

$$u_{is} \leq M_i v_{is} \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (6.4)$$

$$u_{is} + \sum_{k \in I} X_{kis} - \sum_{k \in I} X_{iks} = \sum_{k \in J} x_{iks} \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (6.5)$$

$$cost_{is} = f_s v_{is} + c_s u_{is} + \sum_{k \in I} R_{kis} X_{kis} + \sum_{k \in J} r_{iks} x_{iks} \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (6.6)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijs} = d_{js} \quad \forall j \in J, \forall s \in S \quad (6.7)$$

$$u_{is} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (6.8)$$

上記の目的関数式 (6.1) は変数の需要と変数の価格をかけた値の和から、コストの和を引いた、利益を最大化することを表す式である。次に制約式を説明する。

制約式 (6.2) は生産量と生産品目数が消費する、生産リソースの上限を超えないことを表す制約式である。

制約式 (6.3) は生産品目数が生産品目数の上限を超えないことを表す制約式である。

制約式 (6.4) は生産品目にない製品を生産しないことを表す制約式である。

制約式 (6.5) は生産量と配送量、転送量に矛盾がないことを示す制約式である。

制約式 (6.6) は生産地点ごとの生産固定費用、生産変動費用、転送費用、配送費用の総費

用を示す制約である.

制約式 (6.7) は配送量が需要量をみたすことを表す制約である.

制約式 (6.8) は生産量が負にならないことを表す制約である.

## 6.2 品目ごとに S&OP 適用した食品配送モデル (提案モデル 1)

集合：

$I$ : 生産地点の集合

$J$ : 需要地点の集合

$S$ : 製品の集合

$Order$ : 需要地点と品目を表す集合

添え字：

$i, j, k$ : 地点の添え字

$s$ : 製品の添え字

パラメータ：

$\alpha_s$ : 製品  $s$  の価格弾力性

$p_s^0$ : 製品  $s$  の元価格

$d_{js}^0$ : 製品  $s$  の需要地点  $j$  における元需要

$M_i$ : 生産地点  $i$  の生産リソース上限

$N_i$ : 生産地点  $i$  の生産品目数上限

$g_{is}$ : 製品  $s$  を生産地点  $i$  で生産開始する時に必要な段取りリソース

$f_{is}$ : 製品  $s$  を生産地点  $i$  で生産開始する時に必要な段取り費用

$c_s$ : 製品  $s$  を 1 単位生産するのにかかるコスト

$r_{ijs}$ : 製品  $s$  を生産地点  $i$  から需要地点  $j$  へ配送するのにかかる費用

$R_{ijs}$ : 製品  $s$  を生産地点  $i$  から生産地点  $j$  へ転送するのにかかる費用

変数：

$p_s$ : 需要地点  $j$  の価格を表す変数

$d_{js}$ : 製品  $s$ , 需要地点  $j$  の需要を表す変数

$u_{is}$ : 製品  $s$ , 生産地点  $i$  の生産量を表す変数

$v_{is}$ : 製品  $s$ , 生産地点  $i$  の段取りを表す 0,1 変数

$x_{ijs}$ : 製品  $s$ , 生産地点  $i$  から需要地点  $j$  への輸送量を表す変数

$X_{ijs}$ : 製品  $s$ , 生産地点  $i$  から生産地点  $j$  への転送量を表す変数

$cost_{is}$ : 製品  $s$ , 生産地点  $i$  の総コストを表す変数

### 6.2.1 品目ごとに S&OP 適用した食品配送モデル (提案モデル 1) 定式化

$$\text{maximize} \quad \sum_{j \in J, i \in I} p_{js}(d_{js}^0 + \alpha(p_s^0 - p_s)) - \sum_{i \in I, s \in S} cost_{is} \quad (6.9)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{s \in S} u_{is} + \sum_{s \in S} g_{is} v_{is} \leq M_i \quad \forall i \in I \quad (6.10)$$

$$\sum_{s \in S} v_{is} \leq N_i \quad \forall i \in I \quad (6.11)$$

$$u_{is} \leq M_i v_{is} \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (6.12)$$

$$u_{is} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (6.13)$$

$$u_{is} + \sum_{k \in I} X_{kis} - \sum_{k \in I} X_{iks} = \sum_{k \in J} x_{iks} \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (6.14)$$

$$cost_{is} = f_s v_{is} + c_s u_{is} + \sum_{k \in I} R_{kis} X_{kis} + \sum_{k \in J} r_{iks} x_{iks} \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (6.15)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijs} = d_{js} \quad \forall j \in J, \forall s \in S \quad (6.16)$$

$$d_{js} = d_{js}^0 + \alpha(p_s^0 - p_s) \quad \forall j \in J, \forall s \in S \quad (6.17)$$

$$0.9p_{js}^0 \leq p_{js} \leq 1.1p_{js}^0 \quad \forall j \in J, \forall s \in S \quad (6.18)$$

$$u_{is} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (6.19)$$

$$X_{ijs} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in I, \forall s \in S \quad (6.20)$$

$$p_s \geq 0 \quad \forall j \in J, \forall s \in S \quad (6.21)$$

$$d_{js} \geq 0 \quad \forall j \in J, \forall s \in S \quad (6.22)$$

$$d_{js} = 0 \quad \forall (j, s) \notin \text{Order} \quad (6.23)$$



上記の目的関数式 (6.9) は変数の需要と変数の価格をかけた値の和から、コストの和を引いた、利益を最大化することを表す式である。次に制約式を説明します。

制約式 (6.10) は生産量と生産品目数が消費する、生産リソースの上限を超えないことを表す制約式である。

制約式 (6.11) は生産品目数が生産品目数の上限を超えないことを表す制約式である。

制約式 (6.12) は生産品目でない製品を生産しないことを表す制約式である。

制約式 (6.13) は生産量と配送量、転送量に矛盾がないことを示す制約式である。

制約式 (6.14) は生産地点ごとの生産固定費用、生産変動費用、転送費用、配送費用の総費用を示す制約である。

制約式 (6.15) は配送量が需要量をみたすことを表す制約である。

制約式 (6.16) は需要が価格調整によって変化することを表す制約である。

制約式 (6.17) は価格の変動する範囲が前後 10 % であることを表す制約である。

制約式 (6.18), (6.19), (6.20), (6.21), (6.22) はそれぞれの変数が負にならないことを表す制約である。

制約式 (6.23) はもともと需要のなかった地点の需要が 0 であることを表す制約である。

### 6.3 需要地点、品目ごとに S&OP 適用した食品配送モデル (提案モデル 2)

集合：

$I$ : 生産地点の集合

$J$ : 需要地点の集合

$S$ : 製品の集合

$Order$ : 需要地点と品目を表す集合

添え字：

$i, j, k$ : 地点の添え字

$s$ : 製品の添え字

パラメータ：

$\alpha_s$ : 製品  $s$  の価格弾力性

$p_s^0$ : 製品  $s$  の元価格

$d_s^0$ : 製品  $s$  の元需要

$M_i$ : 生産地点  $i$  の生産リソース上限

$N_i$ : 生産地点  $i$  の生産品目数上限

$g_{is}$ : 製品  $s$  を生産地点  $i$  で生産開始する時に必要な段取りリソース

$f_{is}$ : 製品  $s$  を生産地点  $i$  で生産開始する時に必要な段取り費用

$c_s$ : 製品  $s$  を 1 単位生産するのにかかる費用

$r_{ijs}$ : 製品  $s$  を生産地点  $i$  から需要地点  $j$  へ配送するのにかかる費用

$R_{ijs}$ : 製品  $s$  を生産地点  $i$  から生産地点  $j$  へ転送するのにかかる費用

変数：

$p_{js}$ : 製品  $s$ , 需要地点  $j$  の価格を表す変数

$d_{js}$ : 製品  $s$ , 需要地点  $j$  の需要を表す変数

$u_{is}$ : 製品  $s$ , 生産地点  $i$  の生産量を表す変数

$v_{is}$ : 製品  $s$ , 生産地点  $i$  の段取りを表す 0,1 変数

$x_{ijs}$ : 製品  $s$ , 生産地点  $i$  から需要地点  $j$  への配送量を表す変数

$X_{ijs}$ : 製品  $s$ , 生産地点  $i$  から生産地点  $j$  への転送量を表す変数

$cost_{is}$ : 製品  $s$ , 生産地点  $i$  の総コストを表す変数

### 6.3.1 需要地点, 品目ごとに S&OP 適用した食品配送モデル (提案モデル 2) 定式化

$$\text{maximize} \quad \sum_{j \in J, i \in I} p_{js}(d_{js}^0 + \alpha(p_{js}^0 - p_{js})) - \sum_{i \in I, s \in S} cost_{is} \quad (6.24)$$

$$\text{subject to} \quad \sum_{s \in S} u_{is} + \sum_{s \in S} g_{is}v_{is} \leq M_i \quad \forall i \in I \quad (6.25)$$

$$\sum_{s \in S} v_{is} \leq N_i \quad \forall i \in I \quad (6.26)$$

$$u_{is} \leq M_i v_{is} \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (6.27)$$

$$u_{is} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (6.28)$$

$$u_{is} + \sum_{k \in I} X_{kis} - \sum_{k \in I} X_{iks} = \sum_{k \in J} x_{iks} \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (6.29)$$

$$cost_{is} = f_s v_{is} + c_s u_{is} + \sum_{k \in I} R_{kis} X_{kis} + \sum_{k \in J} r_{iks} x_{iks} \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (6.30)$$

$$\sum_{i \in I} x_{ijs} = d_{js} \quad \forall j \in J, \forall s \in S \quad (6.31)$$

$$d_{js} = d_{js}^0 + \alpha(p_{js}^0 - p_{js}) \quad \forall j \in J, \forall s \in S \quad (6.32)$$

$$0.9p_{js}^0 \leq p_{js} \leq 1.1p_{js}^0 \quad \forall j \in J, \forall s \in S \quad (6.33)$$

$$u_{is} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall s \in S \quad (6.34)$$

$$X_{ijs} \geq 0 \quad \forall i \in I, \forall j \in I, \forall s \in S \quad (6.35)$$

$$p_{js} \geq 0 \quad \forall j \in J, \forall s \in S \quad (6.36)$$

$$d_{js} \geq 0 \quad \forall j \in J, \forall s \in S \quad (6.37)$$

$$d_{js} = 0 \quad \forall (j, s) \notin \text{Order} \quad (6.38)$$

上記の目的関数式 (6.24) は変数の需要と変数の価格をかけた値の和から、コストの和を引いた、利益を最大化することを表す式である。次に制約式を説明します。

制約式 (6.25) は生産量と生産品目数が消費する、生産リソースの上限を超えないことを表す制約式である。

制約式 (6.26) は生産品目数が生産品目数の上限を超えないことを表す制約式である。

制約式 (6.27) は生産品目数にない製品を生産しないことを表す制約式である。

制約式 (6.28) は生産量と配送量、転送量に矛盾がないことを示す制約式である。

制約式 (6.29) は生産地点ごとの生産固定費用、生産変動費用、転送費用、配送費用の総費用を示す制約である。

制約式 (6.30) は配送量が需要量をみたすことを表す制約である。

制約式 (6.30) は需要が価格調整によって変化することを表す制約である。

制約式 (6.30) は価格の変動する範囲が前後 10 % であることを表す制約である。

制約式 (6.33), (6.19), (6.20), (6.21), (6.22) はそれぞれの変数が負にならないことを表す制約である。

制約式 (6.38) はもともと需要のなかった地点の需要が 0 であることを表す制約である。

## 第 7 章 実験データ

実験には現実に即した仮想のデータを使用する。本来ならば、実際の企業のデータでモデルの実験を行いたいところであったが、残念ながらかなわなかったので実際の企業活動に即した仮想のデータの作成を試みた。本研究は中期長期の計画を対象としているため、このような計画の後で、実際には短期計画（オペレーショナルレベル）の意思決定を行う。なので、あまり細やかなデータではなく、データは集約した形で用いるほうが好ましい。

仮想のデータを作成するに当たり、インターネットおよび実際の販売価格など調査し参考とした。

生産地点の場所や生産リソースの上限、需要量、製品数を想定するために、本研究ではパン業界売上 1 位の株式会社山崎製パンを参考に計算する。計算には、山崎製パンのホームページよりオンデマンドグラフ [4] から得られた情報を参考にした。ホームページによると、2014 年の売り上げデータで、食パンが 91714 百万円、菓子パンが 338915 百万円、調理パンなどが 133960 百万円となっている。1 年分の売上高から逆算すると、パン 1 単位当たりの売り上げを 100 円と想定して、1 日当たり全国で 1500 万食の食パンや菓子パン、総菜パンが食べられている計算となる。東京近辺 1 都 3 県の人口は全国の約 1/5 なので、本研究の対象とするデータとして、300 万食を対象とする。この量をこの先の調査により決定した地点に割り振ることで元需要を作成する。割り振る際には、モノの売上は「べき法則 (Power law)」に従うと Mitx[3] にあったので、そこで紹介されていた曲線に基づいて振り分けることにした。曲線の数式は MIT の近くのスーパーマーケットのデータから作られた数値を用いた以下の式である。

$$f(x) = 1.1245x^{0.3784}$$

需要量を与える番号については、山崎製パンホームページのオンデマンドグラフ [4] と山崎製パンホームページの菓子パン人気投票 2015.SUMMER[5] の結果、ならびに価格を参考にした。価格を参考に入れた理由としては、安い商品は大量生産によるコストカットなどが働いていると考えることが可能だからである。ここで、ブームなどの要因で多く売れる事などの不確実な要素は考慮しないものとする。

価格については、実際の小売店にて店頭での価格を参考におおむね、100 円から 200 円程度なので、100 円、150 円、200 円の三段階に集約できると考える。

生産段階について考えるのが本研究の主眼なので、生産の段位界でかかる原価（製造原

価)と小売店に卸す段階での価格(粗利益)を計算する。小売店での原価を調べるために、コンビニ業界売上1位の株式会社セブン-イレブン・ジャパンのデータを参考にする。セブンイレブン会社情報 [6] によるとセブンイレブンの場合小売りの原価は約 70% である。

また、山崎製パンの製造原価は早稲田大学の論文 [7] によると卸値の 64.1% とあった。

よって、粗利益は小売店での価格を 0.6 0.7 倍した値として、製造原価は小売店での価格を任意に 0.4 0.5 倍した値として扱うこととする。考慮しない。

食パンについては、原価率が低いという情報もあったのでやや低めの原価を設定した。

上記の式に基づき計算した値を表 1 に示した。

表 1 品目と価格パラメータ

番号	品名	需要量	小売価格	粗利益	製造原価
1	食パン	500016	100 円	60 円	35 円
2	フィリング入りのパン (あんパンなど)	444649	100 円	65 円	40 円
3	コッペパン	391859	100 円	61 円	45 円
4	メロンパン	341716	100 円	67 円	40 円
5	蒸しパン	294302	100 円	63 円	42 円
6	カレーパン	249707	100 円	66 円	49 円
7	バターロール	208034	150 円	101 円	66 円
8	フランスパン	169400	150 円	95 円	63 円
9	サンドイッチ	133948	200 円	126 円	93 円
10	パイ生地のパン	101844	150 円	96 円	64 円
11	デニッシュ	73297	150 円	91 円	61 円
12	饅頭 (肉まんなど)	48575	67 円	100 円	44 円
13	クロワッサン	28044	150 円	96 円	60 円
14	ベーグル	12269	100 円	65 円	48 円
15	その他 (米粉パンなど)	2340	150 円	98 円	74 円

この需要量をそれぞれの需要地点にランダムに割り当てる。

実験では、この需要量を 100% として変化させることを行う。上表の価格は調査に基づいて決定した。需要地点の作成でも参考にしたセブンイレブンにて、パンの価格を調査した。この製造原価を生産費用として計算を行う。

また、配送費用、転送費用、生産リソースの上限を決定するためにここではヤマザキ製パンの工場の位置と面積を求めることにする。工場の位置情報は公式ホームページにあり

たので，その情報をもとに，google map と Google Maps 面積計算 V3[8] という web サイトのアプリケーションを用いて面積と緯度経度情報を取得する．

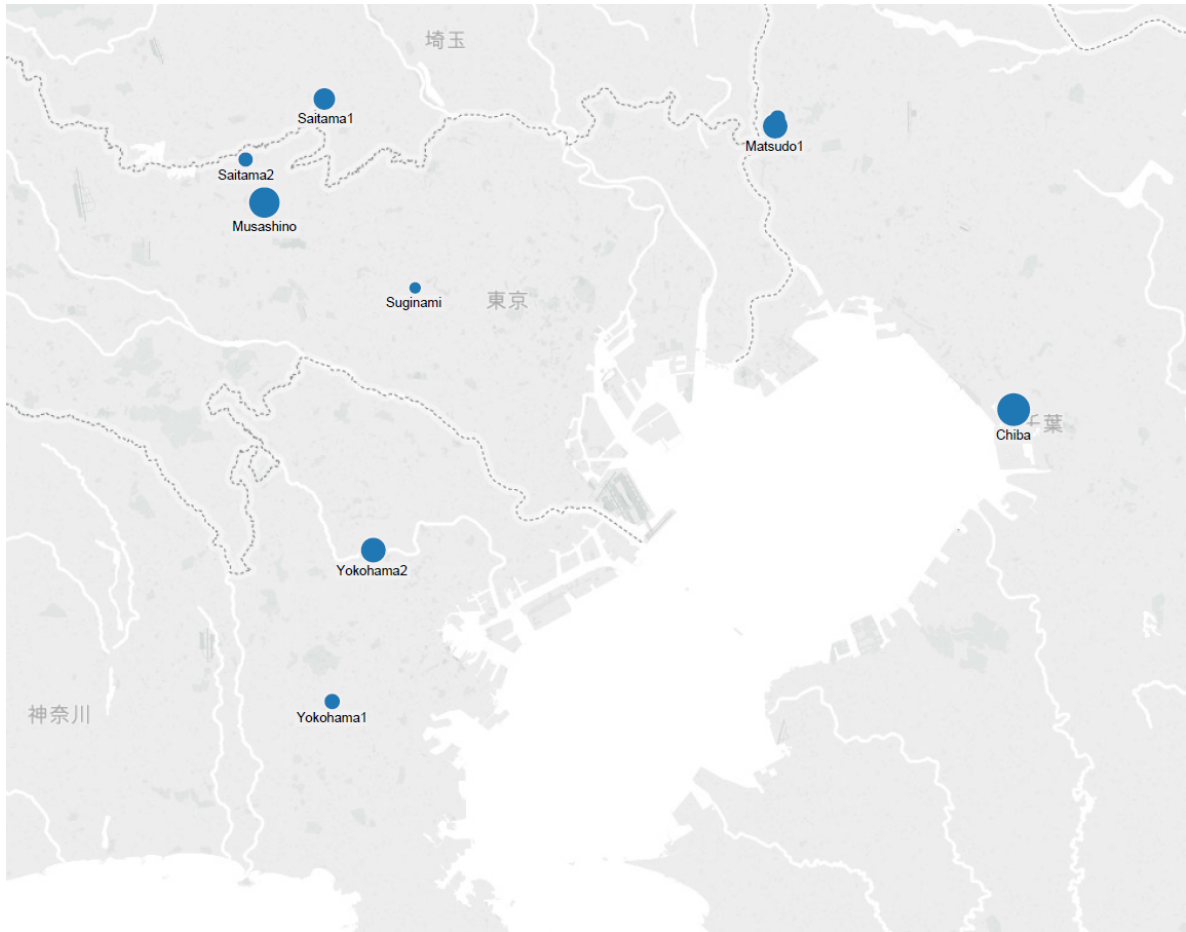


図 7.1 工場の地点情報

図 (7.1) はそれぞれの点の大きさが工場の面積を示している。面積に比例して作れる品目数と生産リソース上限も決定する。

需要地点もセブンイレブンのデータを参考に考える。

細かい位置を知ることはできなかったが，セブンイレブンの企業情報 [10] によると、セブンイレブンの物流センターは全国に 150 地点ほどある。

これを全 47 都道府県で割ると，1 都道府県当たり 3 地点となる。対象地域は東京周辺 1 都 3 県なので，12 地点となる。生産地点の時と同じ格子グラフに，生産地点と同じ点にならないように気を付けつつ散らばった地点を 12 個をランダムに作成する。この位置情報をもとに需要地点も加えて  $50 \times 50$  の格子グラフ上に落とし込むと図 (7.2) のように

なる。このグラフに対して実験を行う。地点間の配送費用は、そのマンハッタン距離として、転送費用は、マンハッタン距離の  $1/10$  とする。

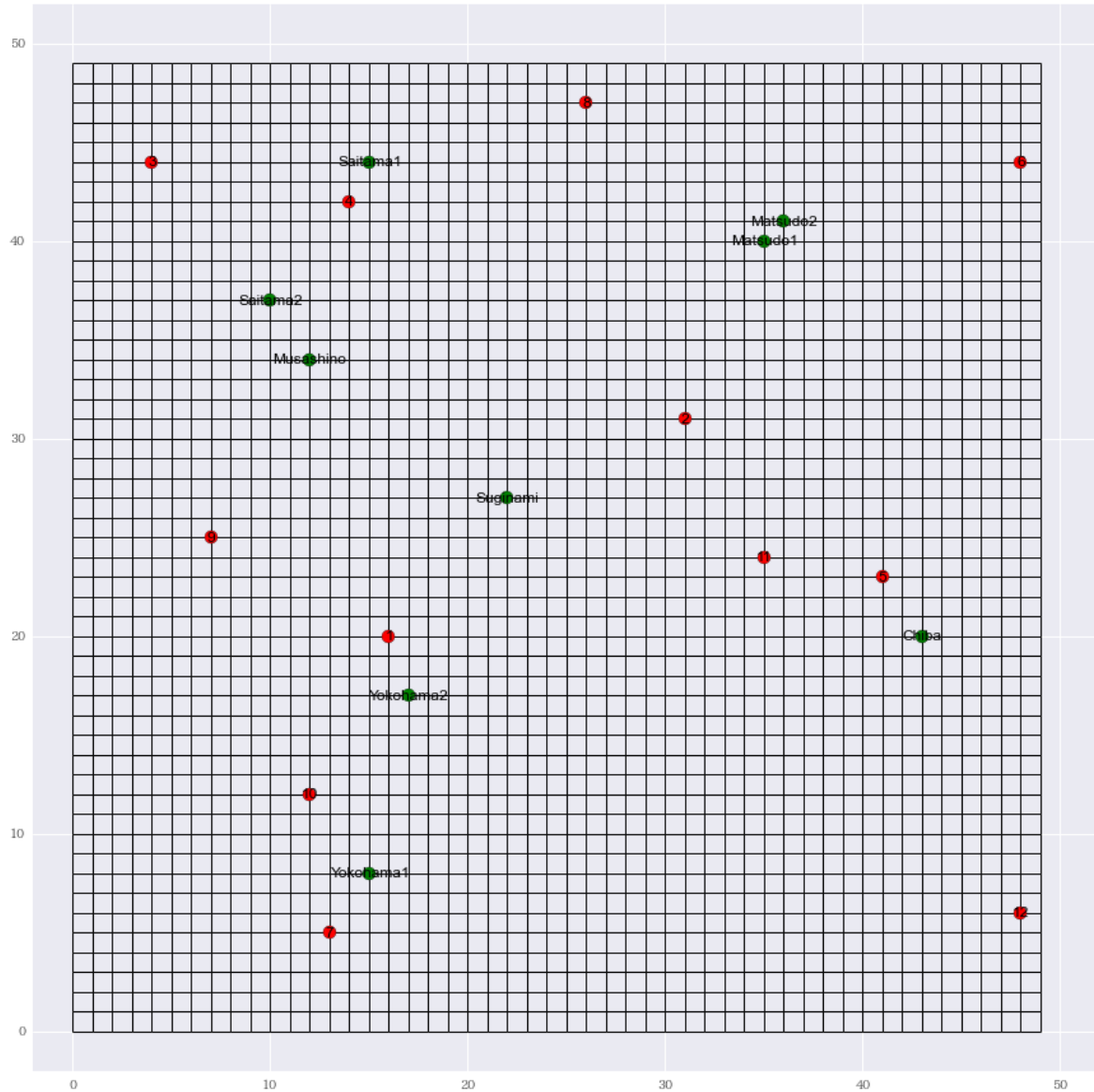


図 7.2 格子グラフ

価格弾力性はすべての商品が需要と価格の関係性が適切な値で与えられているとする



ので,

$$\alpha_s = \frac{\sum_{j \in J} d_{js}^0}{p_s^0}$$

とする．本研究では中長期の計画を仮定しているので価格の変更も考慮する．MITx[3]によると、価格変更の領域は製品や計画により異なり、フローズン、半解け、フレキシブルという3段階で価格を変更する領域を考慮できる．フローズンの計画には、計画期間が短く、価格を変更不可能な場合が当てはまる．半解け、フレキシブルの計画には、中期長期の計画期間を想定しており、期間や製品によって10%程度、30%程度という変化可能な領域を与える．それぞれの計画期間と変更の幅について図(7.3)に示した．

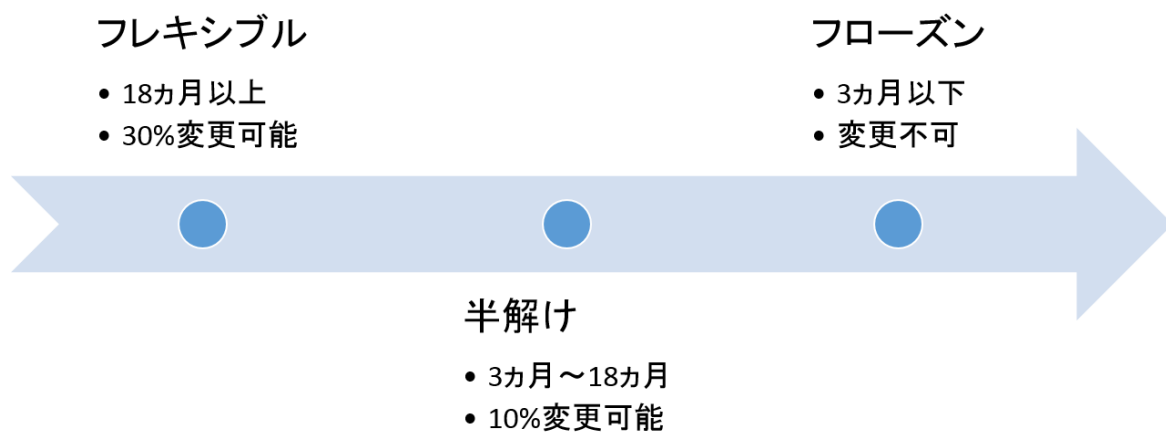


図 7.3 変更の範囲 [3]

本研究では値段を変える幅について、原材料費の山崎製パンが商品全体を平均で2.6%の値上げをただけでもニュースになる [9] 現在の状況を考えて、値段を変える場幅は「半解け」の10%が適当と判断した．

## 第 8 章 実験

提案モデルに対して上記パラメータを適用して行った実験の結果を以下に示す。実験は、MIPGap(上下界値ギャップ) が 5% の時点で打ち切った結果を示す。(それ以上に精度のよい結果を求めると計算時間が非常に長いものとなるので、5% の結果を利用する。) この実験で観察する点は 2 点、1 つは総需要量が生産リソース上限に近い場合に転送による非効率が存在することの確認と、その対策として S&OP が効果を発揮するか確認することである。もう 1 つは価格の変化がサプライ・チェーンに与える影響の観察である。

### 8.1 実験環境

実験環境は以下の通りである。

OS 名 :	Windows 7 Professional 64 ビット
バージョン :	6.1(ビルド 7601 : Service Pack 1)
プロセッサ :	Intel®Core™ i7-3770 CPU 3.40GHz
実装メモリ :	16.00 GB
使用ソフト :	Python 2.7.10-4,Gurobi Optimizer

### 8.2 実験結果

最適解をグラフに図 (8.1) に示す。

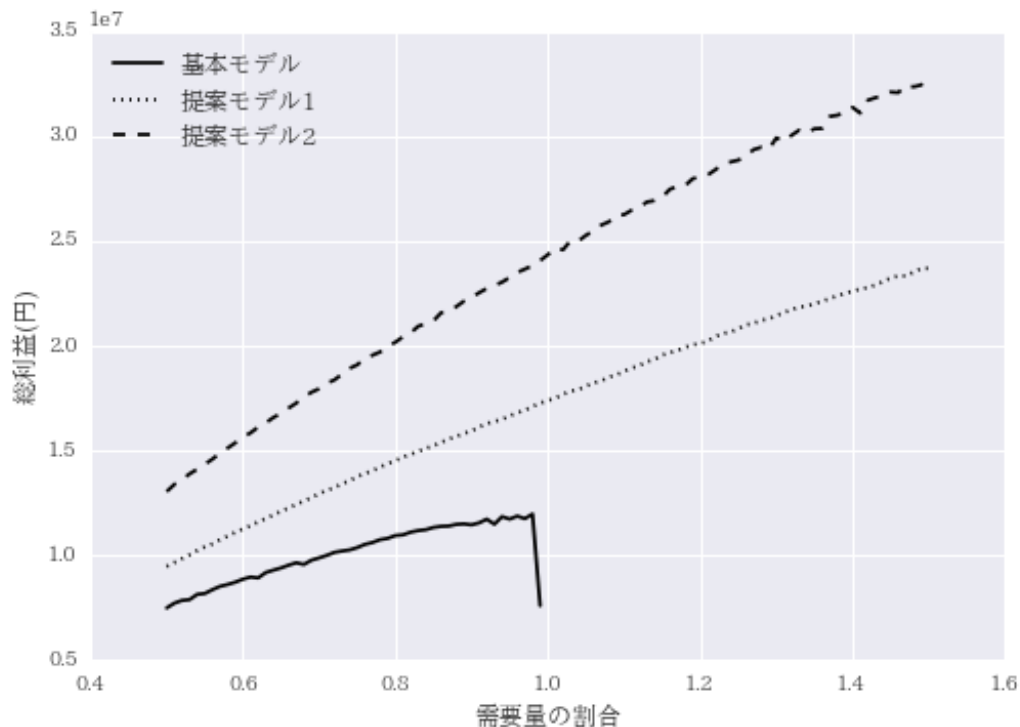


図 8.1 最適解の推移

図 8.1 は総利益（目的関数値）の推移を表したグラフである．縦軸に総利益を示し、横軸に需要量の生産リソース上限に占める割合を図 8.1 には需要の割合として示した．実験は 50% から 150% の間を 1% 刻みに行った．

グラフは、実線が S&OP を適用しない基本モデル、点線が品目ごとに S&OP 適用した食品配送モデルである提案モデル 1、破線が需要地点、品目ごとに S&OP 適用した食品配送モデルである提案モデル 2 を表している．基本モデルの実験結果が途中で途切れているのは、価格の調整を持たないので生産リソース上限を超えた発注に対して解を導くことができないので 99% までの結果を示した．目的関数値は、グラフからも明らかだが全てのケースにおいて提案モデル 2、提案モデル 1、基本モデルの順に高い値を観測した．99% の点での結果を確認すると、基本モデルに比べて、提案モデル 2 は 315% 最適解が向上している．

次に同実験の転送量について図 8.2 に示す．

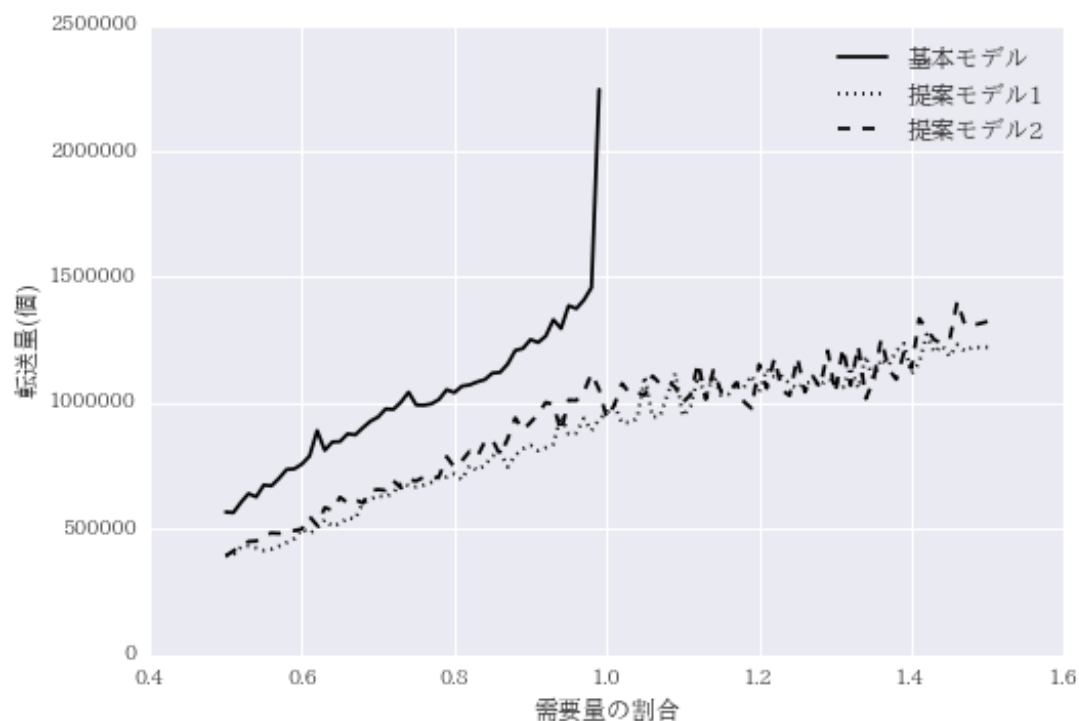


図 8.2 総転送量の推移

総転送量とは、その最適解において転送を行った商品数の合計である。グラフの凡例は上と同様である。総転送量も 99% の点を比較すると、基本モデルに比べて、提案モデル 2 は 54% 転送する物量の削減に成功している。この結果から、提案モデル 1,2 とともに転送量を減らし物流を非効率を減らす効果が期待できる。

転送量で比較しても生産リソース上限にほど近い段階において非常に効率的な戦略をとることが可能になることが示された。

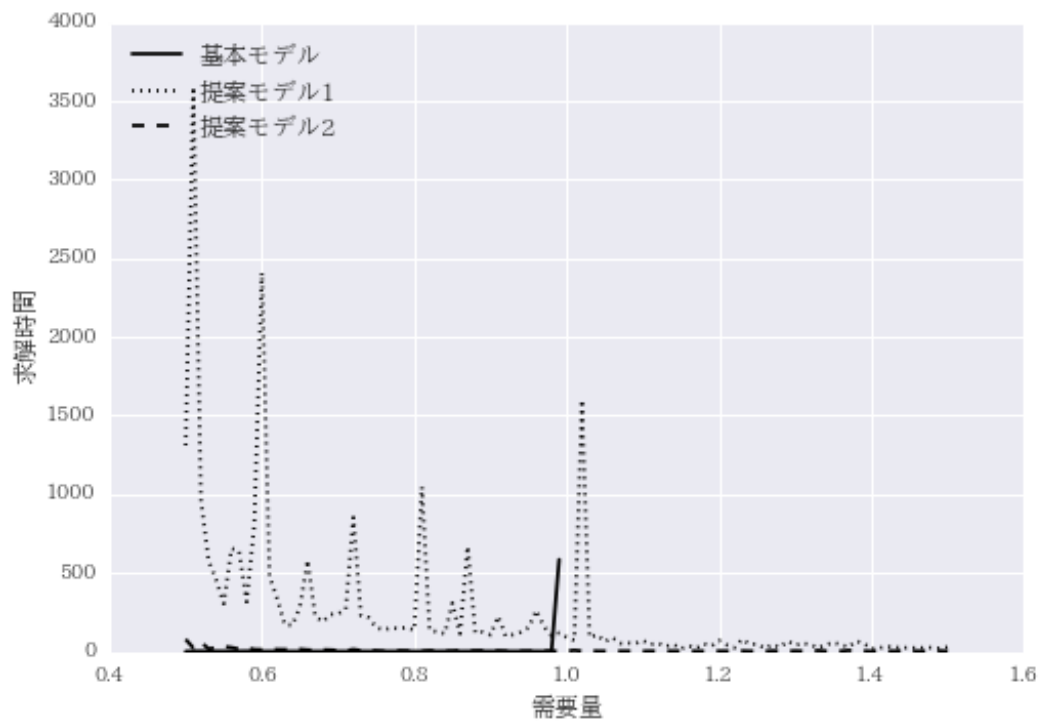


図 8.3 総転送量の推移

また、この解を得るのにかった求解時間の比較した図が図 8.3 である。グラフの凡例は上と同様である。提案モデル 1 にて解を求めるのに多くの時間がかかることがたびたびあることが観測された。また、基本モデルでは需要が 100% に近い点で時間がかかった。品目の価格がどのように変わっているか確認する。

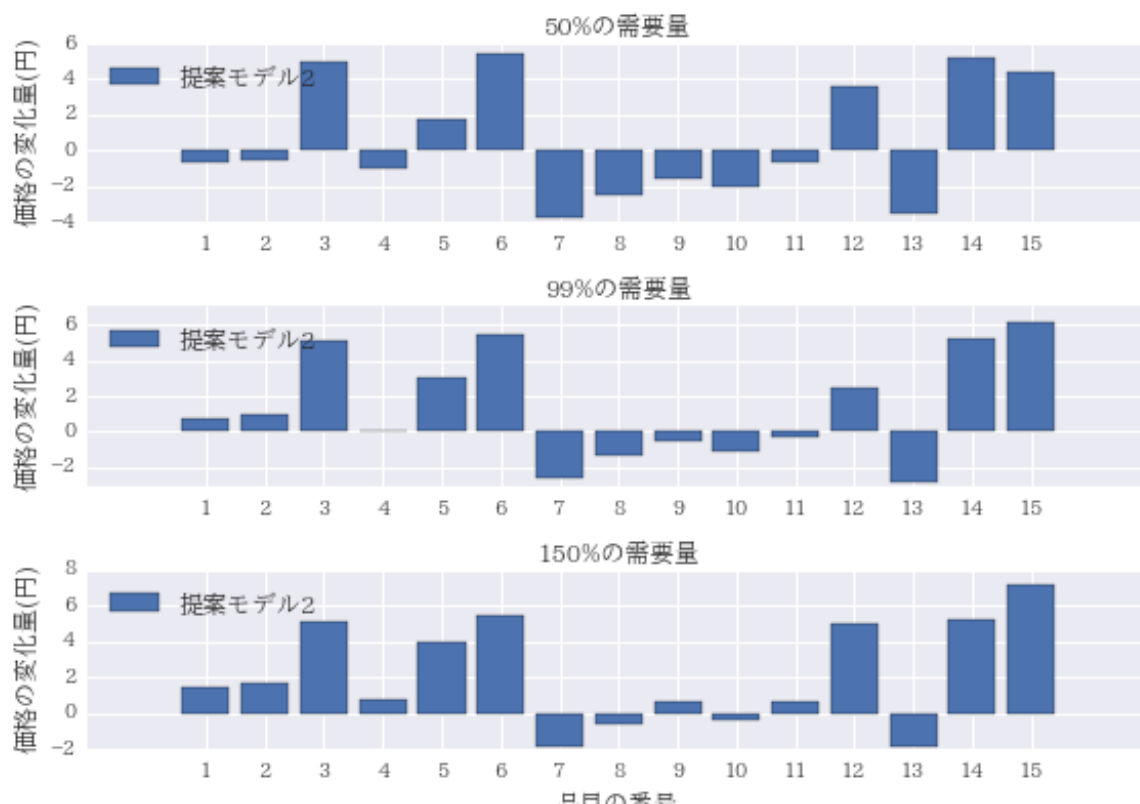


図 8.4 価格変化

図 8.4 は提案モデル 2 にて需要量ごとに製品の価格がどのように変化するかを表したグラフである。このグラフから一単位当たりの利益の悪い商品である、製品 3, 6, 14 の値上げを行う傾向がよく見れみれる。一方で利益性の良い 7, 8, 9, 10, 13 は値下げする戦略がわかる。製品 14, 15 についてみると、生産リソースに余裕がある場合は生産するが、需要が多くなるにつれて生産しない方策となった。製品全体として需要量の増加に伴って、商品の価格変更の方針が変化した。この結果は価格の調整が利益性のみで決まらないことを示すと考える。

提案モデル 1 の結果も同様の結果であったが、生産する品目はすべての品目を生産していた。需要の増加に従って値段が上がった結果と転送量がを見ると、流通の非効率を減らした理由として価格の変更があると考えた。

## 第 9 章 まとめ及び今後の課題

この章では、本研究のまとめと今後の課題について述べる。

### 9.1 まとめ

以下に実験結果からわかることをまとめる。

転送を考慮したモデルでは、生産リソース上限にほど近い場合に非効率が存在することがよく示すことができた。その非効率の対策として S&OP の価格調整が効果が確認されたので、提案モデルの有用性は示されたと考える。

また、提案モデル 2 について考えると需要と生産する品目のマネジメントにも使える可能性を示した。

以上が本研究にて示すことができた点であると考ええる。解明できた点は多くはないが寄与できたのではないかとと思われる。一方で、実務との関連性の弱さにより、生産しないなど非現実的な結果といえる可能性もあると考えるので、実務データを踏まえた実験、検証により充実した内容になるのではないかと考えられる。

### 9.2 今後の課題

以下のような事の実現が今後の課題である。

- 実務データによる実験、検証。
- 品目のマネジメントなど、モデルの拡張性の検証。
- 配送問題以外の問題に対しても S&OP を適用することによる効果の検証。

## 謝辞

本研究を進めるにあたり、非常に多くの方々に深くご支援を頂きました。特に指導教官である久保幹雄教授には全般にわたりご指導して頂き、感謝の念に堪えません。

また、日頃の研究活動やその議論を通じて多くの知識や示唆を頂いた流通設計研究室の皆様にも深く感謝いたします。

## 参考文献

- [1] 久保幹雄,J.P. ペドロソ, 松村正和,A. レイス共著,『新しい数理最適化』, 近代科学社,2012
- [2] 久保幹雄, 松川弘明, 小林和博, 中島健一, 花岡伸也, 間島隆博共著,『サプライチェーンリスク管理と人道支援ロジスティクス』,2015
- [3] MITx:CTL.SC2x Supply Chain Design,  
<https://www.edx.org/course/supply-chain-design-mitx-ctl-sc2x>
- [4] 山崎製パンホームページ, オンデマンドグラフ,  
<http://www.yamazakipan.co.jp/ir/zaimu/ondemand/index.html>
- [5] 山崎製パンホームページ, 菓子パン人気投票 2015.SUMMER,  
<http://www.yamazakipan.co.jp/campaign/2015/kashipan/>
- [6] セブンイレブン会社情報  
<http://www.sej.co.jp/company/aboutsej/distribution.html>
- [7] 堀内 俊洋, パン産業の最近の構造についての一察,2008  
[https://dspace.wul.waseda.ac.jp/dspace/bitstream/2065/31953/1/SeijiKeizaigaku\\_372\\_00\\_005\\_HORIUCHI.pdf](https://dspace.wul.waseda.ac.jp/dspace/bitstream/2065/31953/1/SeijiKeizaigaku_372_00_005_HORIUCHI.pdf)
- [8] Google Maps 面積計算 V3  
[http://wisteriahill.sakura.ne.jp/GMAP/GMAP\\_CALCAREA\\_V3/](http://wisteriahill.sakura.ne.jp/GMAP/GMAP_CALCAREA_V3/)
- [9] 山崎製パン会社情報  
<https://www.yamazakipan.co.jp/company/news/20150526.html>
- [10] セブンイレブン企業情報  
<http://www.sej.co.jp/company/aboutsej/distribution.html>
- [11] IT Leaders, “定食屋” で理解する S&OP のプロセス  
<http://it.impressbm.co.jp/articles/-/10567>
- [12] exa, 第3回 最先端の SCM テーマ『S&OP』  
<http://www.exa-corp.co.jp/column/scm/vol3.html>
- [13] SAP,S&OP で「金額ベースのサプライチェーン最適化」をはかるデュポン  
<http://www.sapjp.com/blog/archives/5029>